

Ubuntu Serverへのログインと他サーバとの通信の履歴 にもとづくVMの内部データのアーカイブ判断

月森 陽太¹ 遠藤 空¹ 串田 高幸¹

概要：東京工科大学コンピュータサイエンス学部の研究室である Cloud and Distributed Systems Laboratory では、VM の内部データをアーカイブするアーカイブサーバを運用しており、パワーオフ状態で 30 日間再起動されていない VM をアーカイブしている。課題はパワーオン状態の VM のうち、VM 内の Ubuntu Server を実際に使用していないか判断できないことである。提案として、他サーバとの通信の履歴がない Ubuntu Server のうち、学生が所有するすべての VM ごとに算出される Ubuntu Server へのログインを行っていない期間の平均値が上内境界点以上である Ubuntu Server を使用していないと判断する。上内境界点は、箱ひげ図におけるひげ部分の上限値である。評価実験は 50 件の VM を対象に行い、提案ソフトウェアの精度を適合率と再現率から求める。提案ソフトウェアが使用していないと判断した Ubuntu Server のうち、実際に使用していない Ubuntu Server は 1 件で、実際に使用している Ubuntu Server は 2 件であった。提案ソフトウェアが使用していると判断した Ubuntu Server のうち、実際に使用している Ubuntu Server は 39 件で、実際に使用していない Ubuntu Server は 8 件であった。実験結果として、提案ソフトウェアの適合率は約 33.33%であり、再現率は約 11.11%であった。

1. はじめに

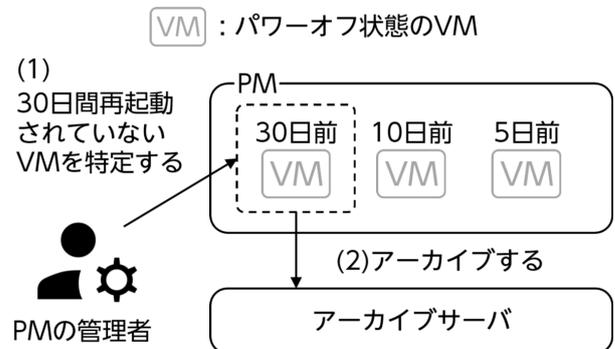
背景

クラウドコンピューティングは、ネットワークを介してユーザにコンピューティング能力、ストレージスペース、アプリケーションサービスを提供する利用形態であり、その需要の増大に伴いクラウドデータセンターの規模は拡大し続けている [1]。企業では、システムのアクセシビリティと応答性の要件を満たすため、リクエスト数やトラフィック量の予測が難しい状況下でのスケーリングが必要となる。特に、予期しないリクエストの急増や長期的なトラフィック変動に対応するためにストレージのオーバープロビジョニングが発生し、不必要な支出が発生する [2]。

Virtual Machine(以後 VM とする)は、仮想化技術によって提供されるハードウェアを抽象化したソフトウェアベースのコンポーネントである [3]。VM 環境における主要なストレージの形式は仮想ディスクであり、その一般的な仮想ディスクのサイズは数ギガバイト以上に及ぶ [4]。

東京工科大学コンピュータサイエンス学部の研究室である Cloud and Distributed Systems Laboratory(以後 CDSL とする)では、10 台の Physical Machine(以後 PM とする)が運用されており、ハイパーバイザーとして Broadcom 社

の VMware 製品である VMware ESXi が導入されている。CDSL に所属している学生は、10 台のうち 7 台の PM 内で自由に VM を作成し、ゲスト OS として Ubuntu Server を導入している。また CDSL では、VM の vmdk ファイルや vmsd ファイルを例とした内部データをアーカイブするアーカイブサーバがあり、現在は VMware ESXi の管理コンソールに表示される VM の最終起動時刻から、30 日間再起動されていない VM を特定してアーカイブを実施している。図 1 に PM の管理者が、VM の再起動が行われてから経過した日数が 30 日以上 of VM をアーカイブする流れを示す。



¹ 東京工科大学コンピュータサイエンス学部
〒192-0982 東京都八王子市片倉町1404-1

図 1 CDSLで行っているアーカイブの現状

アーカイブとは、アプリケーションやデータを保存し、必要に応じて復元可能な状態にすることである。データや構成ファイルのアーカイブは、再現性やデータ共有において重要な役割を果たす [5]。

課題

図 2 に課題の流れを示す。PM の管理者は、PM 内のパワーオン状態の VM のうち、どの VM 内の Ubuntu Server を実際に使用していないか判断することができない。

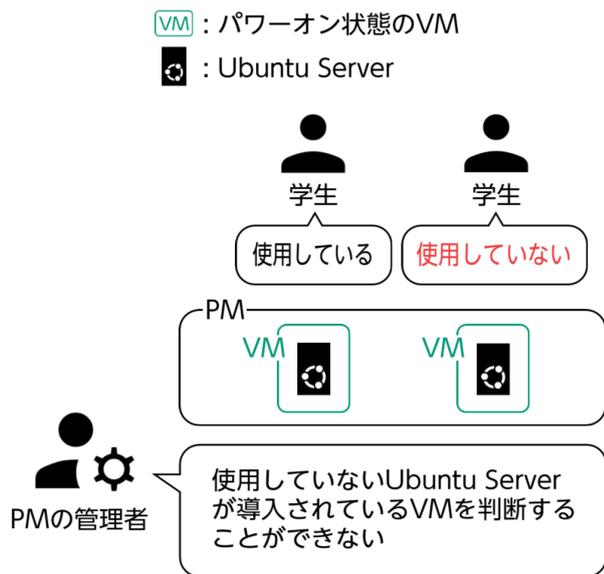


図 2 課題の流れ

各章の概要

第 2 章の関連研究では、関連する既存研究について述べる。第 3 章の提案では、課題を解決する提案とユースケース・シナリオについて述べる。第 4 章の実装では、提案をもとに作成したソフトウェアの実装方法について述べる。第 5 章の評価実験では、実験環境、実験結果と分析について述べる。第 6 章の議論では、提案の議論を述べる。第 7 章では、全体のまとめを述べる。

2. 関連研究

クラウドデータセンターにおいて、低負荷のホストを検出し、ホストのメモリやストレージを例としたリソースの使用率を高めることで、エネルギー消費の削減を目指した研究がある [6]。この研究では、データセンター全体の使用率を考慮した下限しきい値を計算し、空けることのできるホストの最大数を予測する Host Utilization Aware アルゴリズムを提案している。その結果、低負荷ホストを検出し、ユーザのサービスレベル契約を維持しながらエネルギー消費を削減された。しかしホスト全体の使用率は考慮されているものの、VM の使用状況や特性にもとづいた選択は行

われていない。

動的予測アルゴリズムにもとづいて移行する VM を選択することで、移行する VM の数を削減した研究がある [7]。この研究では、監視サーバモジュールによって収集されたメモリの動的消費にもとづき、次の VM のスケジュール周期のメモリ消費値を予測し、メモリ消費が最小になった VM を移行対象に選択する Virtual Machine Dynamic Forecast Migration アルゴリズムを提案している。その結果、移行対象の VM のうち、ランダムに移行する VM を選択したときと比較して仮想マシンの移行回数が 10%削減された。しかしメモリの消費以外の指標については考慮されていない。

クラウドデータセンターにおいて、エネルギー効率を改善するために、VM のライブマイグレーションを活用して PM の稼働数の削減を提案している研究がある [8]。この研究では CPU 使用率とメモリ使用量にもとづき、移行する VM を選択するアルゴリズムを提案している。その結果、エネルギー消費が削減され、不要な VM 移行が回避されるとともに、SLA(Service Level Agreement) 違反が減少した。この手法は稼働中の VM を対象としており、使用していない VM を特定して移行する方法については検討されていない。

3. 提案

VM 内の Ubuntu Server と他サーバとの通信とログインの履歴にもとづいて、使用していない Ubuntu Server を判断する。はじめにパワーオン状態の VM のうち、他サーバとの通信の履歴が存在する Ubuntu Server は使用していると判断する。他サーバとの通信の履歴が存在しない Ubuntu Server のうち、学生が所有するすべての VM 内の Ubuntu Server からログイン間隔の平均値を求め、箱ひげ図におけるひげ部分の上限の値である上内境界点を越えた Ubuntu Server を使用していないと判断する。ログイン間隔とは、Ubuntu Server へのログインを行っていない期間のことである。提案において、ログイン履歴のみではなく、他サーバとの通信の履歴を考慮する理由は、ログの収集やバックアップの目的で使用している VM では、VM 内の OS にログインが行われない事例が存在するためである。提案の前提条件を以下のように設定する。

- 他サーバに送信するプログラムが、cronjob や systemd によって自動実行されている。
- VM 内の Ubuntu Server 上で Kubernetes の Master Node および Worker Node が動作していない。
- Ubuntu Server をデータベースとして使用していない。

他サーバとの通信を判断する方法

図 3 に他サーバとの通信を判断する方法を示す。すべての VM を作成者ごとに分類したとき、学生が所有するす

すべての VM 内の Ubuntu Server において共通して通信しているサーバの IP アドレスを特定する。192.168.100.200, 192.168.100.201, 192.168.100.202 は、それぞれ学生が所有する 3 台の VM 内で動作する Ubuntu Server の IP アドレスである。192.168.100.35 と 192.168.100.37 は CDSL の Jump Server の IP アドレスであり、CDSL のインフラストラクチャの環境下における VM 内の Ubuntu Server のデフォルトの接続先である。Jump Server はネットワーク外部からのアクセスを処理する中継サーバである [9]。図 3 の場合、VM 内の Ubuntu Server の IP アドレスが 192.168.100.200 である Ubuntu Server は他サーバと通信を行っている判断し、192.168.100.201, 192.168.100.202 である Ubuntu Server は他サーバと通信を行っていないと判断する。通信の履歴を取得する期間は、CDSL の学生の研究によって Ubuntu Server の使用状況にかかわらず導入されている cronjob や systemd により自動実行され他サーバにデータを送信するプログラムが動作する期間の最大とする。通信の履歴を取得する時刻は、静的な時間で自動実行されているプログラムがある場合は、プログラムの実行時刻を中央値とする。通信の履歴を取得する期間が最大値、時刻が中央値である理由は、学生によって自動実行されているすべてのプログラムの実行を網羅するためである。この通信期間で、Ubuntu Server が共通して通信している IP アドレス以外への通信が確認された場合に、他サーバと通信していると判断する。

●: 学生 ■: Ubuntu Server ↔: 通信
■: 共通する IP アドレス

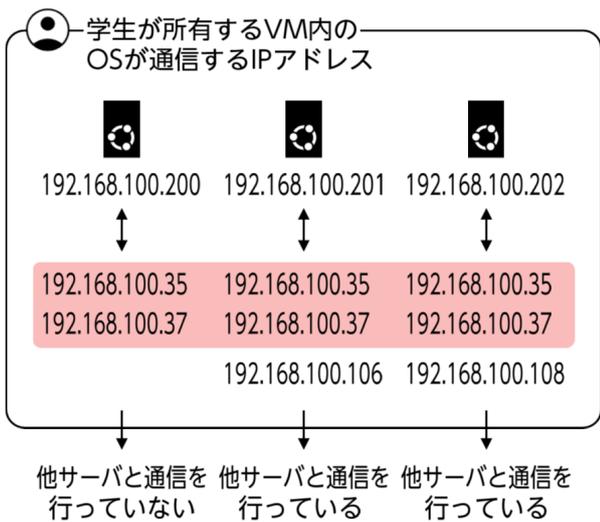


図 3 他サーバとの通信を判断する方法

Ubuntu Server へのログイン間隔の上内境界点から使用していない Ubuntu Server を判断する方法

図 4 に上内境界点から使用していない Ubuntu Server を判断する方法を示す。学生が所有するすべての VM 内の Ubuntu Server ごとのログイン間隔の平均値を算出し、それらから上内境界点を算出する。上内境界点の算出方法を式 (1) に示す。UpperInnerFence は上内境界点、 $X_{0.25}$ は第 1 四分位数、 $X_{0.75}$ は第 3 四分位数である。Ubuntu Server へのログイン間隔の平均値が、上内境界点以上である VM を使用していないと判断する。

●: 学生 ■: Ubuntu Server
□: 使用していないと判断する対象

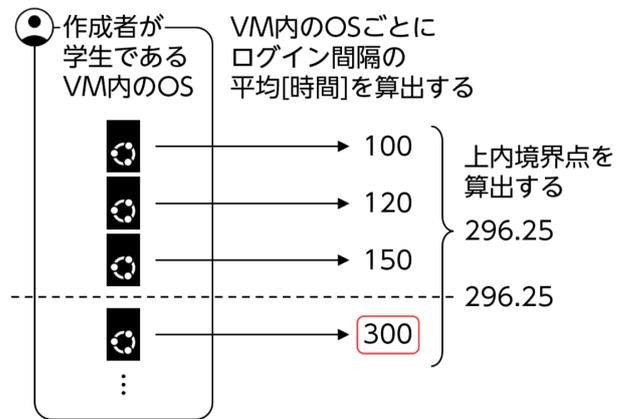


図 4 上内境界点から使用していない Ubuntu Server を判断する方法

$$UpperInnerFence = X_{0.75} + 1.5(X_{0.75} - X_{0.25}) \quad (1)$$

テクニカルレポート執筆期間を考慮したログイン間隔の算出方法

Ubuntu Server へのログイン間隔を算出するときに、ログイン間隔に変化が発生するイベントを考慮する必要がある。CDSL におけるイベントとしてテクニカルレポートの執筆期間と、長期休暇期間がある。図 5 にテクニカルレポートの執筆期間の定義を示す。CDSL に所属する学生は、指定された締切日時までにテクニカルレポートを執筆し提出する。締切日時の一定期間前から、執筆状況の進捗状況を確認するために Google ドライブ上の指定された共有フォルダにテクニカルレポートをアップロードする。学生が、Google ドライブにテクニカルレポートを 11 月 4 日 8 時 50 分に最初にアップロードした日時から、テクニカルレポートの締切日時である 11 月 21 日 12 時 00 分までをテクニカルレポート執筆期間と定義する。

図 6 にテクニカルレポート執筆期間を考慮したログイン間隔の算出方法を示す。テクニカルレポート執筆期間の開

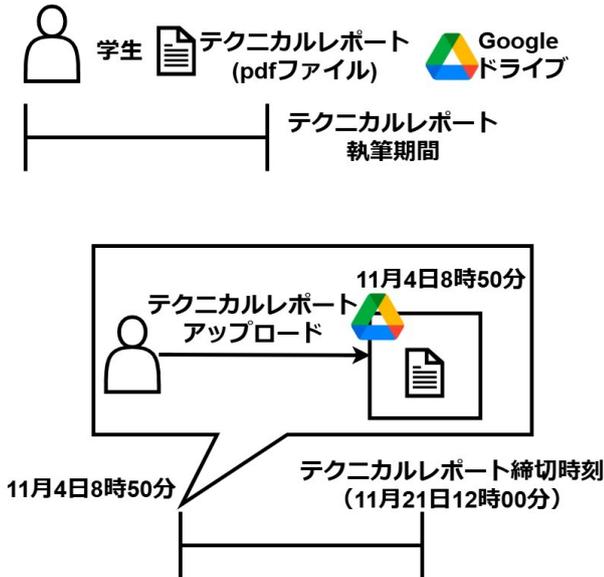


図 5 テクニカルレポート執筆期間の定義の図

始日時である 11 月 4 日 8 時 50 分から、それ以降の最初の Ubuntu Server へのログイン日時である 11 月 6 日 15 時 30 分までの期間を、ログイン間隔から除外する。このときログイン間隔は、11 月 1 日 13 時 20 分から 11 月 6 日 15 時 30 分までの期間から、11 月 4 日 8 時 50 分から 11 月 6 日 15 時 30 分までの期間を除外した 122 時間 10 分が算出される。

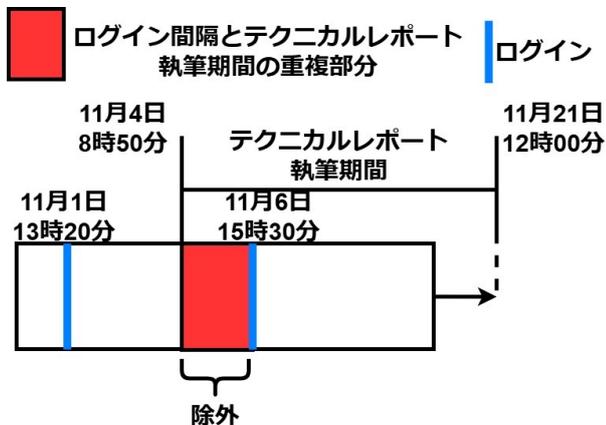


図 6 テクニカルレポート執筆期間を考慮したログイン間隔の算出方法

長期休暇期間を考慮したログイン間隔の算出方法

図 7 に長期休暇期間を考慮したログイン間隔の算出方法を示す。長期休暇期間の開始日時である 8 月 9 日 0 時から、それ以降の最初の VM 内の Ubuntu Server へのログイン日時である 8 月 12 日 11 時 20 分までの期間を、ログイン間隔から除外する。このときログイン間隔は、8 月 7 日 15 時 20 分から 8 月 12 日 11 時 20 分までの期間から、8 月 9 日 0 時 00 分から 8 月 12 日 11 時 20 分までの期間を除外した 32 時間 40 分が算出される。

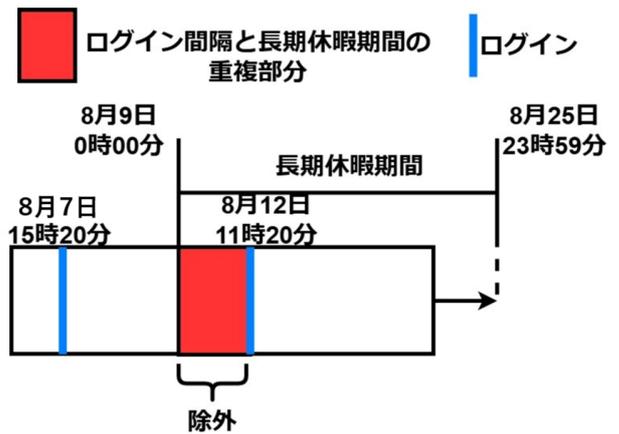


図 7 長期休暇期間を考慮したログイン間隔の算出方法

ユースケース・シナリオ

ユースケース・シナリオとして、CDSL におけるアーカイブサーバの運用環境を想定する。図 8 に提案適用後のユースケース・シナリオを示す。(1) で PM の管理者は、PM 内のパワーオン状態の VM のうち、使用していない Ubuntu Server が導入されている VM のみをアーカイブするために提案ソフトウェアを実行する。提案ソフトウェアは使用していない Ubuntu Server が導入されている VM を判断し、その VM のホスト名を出力する。(2) で PM の管理者は使用していない Ubuntu Server が導入されている VM のみをアーカイブすることができる。

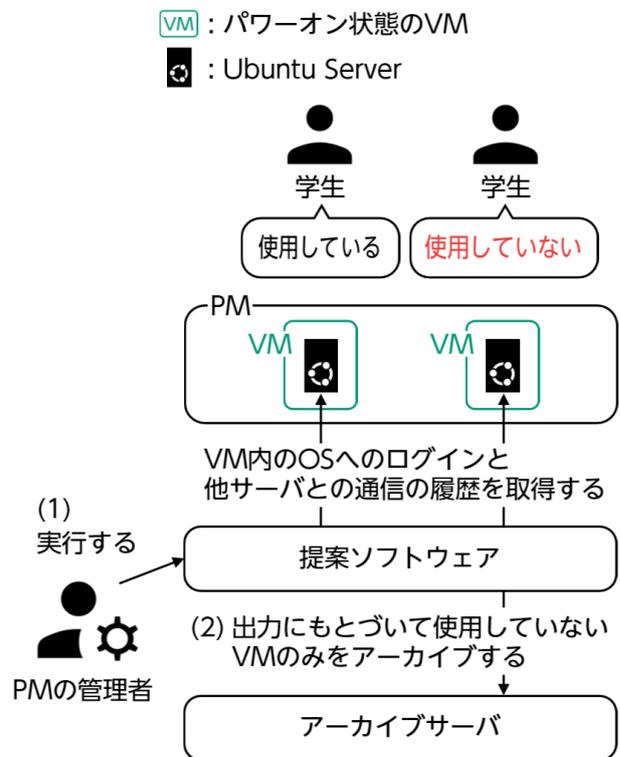


図 8 提案適用後のユースケース・シナリオ

4. 実装

評価対象となる VM に導入されている Ubuntu Server へのログイン履歴および他サーバとの通信の履歴を取得し、提案ソフトウェアを適用する管理サーバに送信するシェルスクリプトである `get-last-tcpdump.sh` と、使用していない Ubuntu Server が導入されている VM を判断するソフトウェアである `output-vm-with-noncommon-ip.sh` と `output-vm-with-noncommon.sh` を作成した。ソフトウェアは、プログラミング言語の Python を使用して作成した。

ログインと他サーバとの通信の履歴の取得

図 9 に `get-last-tcpdump.sh` 内で行われる処理の流れを示す。評価対象となるすべての VM において、VM 内の Ubuntu Server へのログイン履歴と他サーバとの通信の履歴を管理サーバに送信するシェルスクリプトである `get-last-tcpdump.sh` を実行する。`get-last-tcpdump.sh` では、それぞれの VM 内の Ubuntu Server で `last` コマンドと `tcpdump` コマンドの出力をそれぞれ VM-LAST ファイル、VM-TCPDUMP ファイルに記録し、これらを管理サーバに送信する。

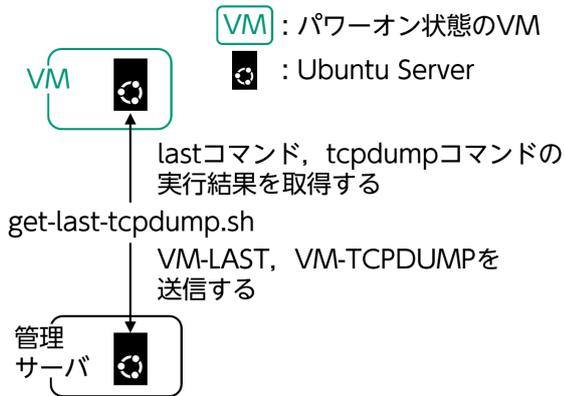


図 9 `get-last-tcpdump.sh` 内で行われる処理の流れ

使用していない VM を判断するソフトウェア

図 10 に `output-vm-with-noncommon-ip.sh` 内で行われる処理の流れを示す。管理サーバで収集されたすべての VM-TCPDUMP ファイルで共通して記録されている IP アドレスを抽出する。その後、共通する IP アドレス以外との通信が存在する Ubuntu Server が導入されている VM があった場合に、その VM のホスト名を `vm-with-noncommon-ip` ファイルに記録する。

図 11 に `output-inactive-vm-prediction.sh` 内で行われる処理の流れを示す。`vm-with-noncommon-ip` ファイルに記録されている VM について、その VM の VM-LAST からテ

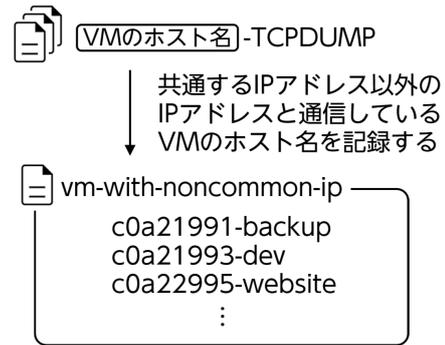


図 10 `output-vm-with-noncommon-ip.sh` で行われる処理の流れ

クニカルレポート執筆期間と長期休暇期間を考慮した期間を VM-SSH-INTERVAL ファイルに記録する。VM-SSH-INTERVAL から平均ログイン間隔の平均値を算出し、学生が所有するすべての VM のログイン間隔の第 1 四分位数、第 3 四分位数を NumPy を使用して算出し、上内境界点を算出する。NumPy とは、Python における科学計算ライブラリである [10]。学生が所有するすべての VM 内の Ubuntu Server の平均ログイン間隔のうち、上内境界点以上である VM のホスト名を `inactive-vm-prediction` ファイルに出力する。

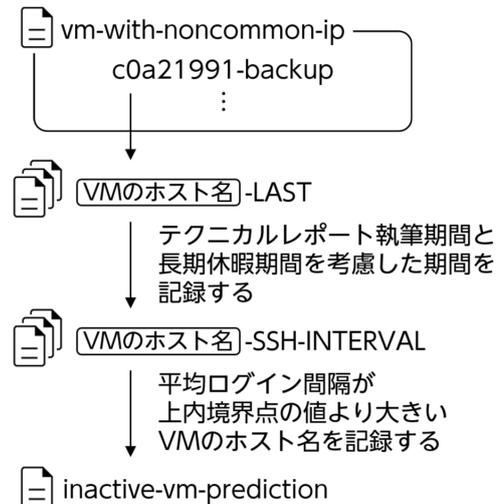


図 11 `output-inactive-vm-prediction.sh` で行われる処理の流れ

5. 評価実験

使用していない Ubuntu Server が導入されている VM を判定する提案ソフトウェアを、適合率と再現率をもちいて評価する。適合率は、提案ソフトウェアが使用していないと判断した Ubuntu Server の中で、実際に使用していない Ubuntu Server の割合を示す。再現率は、実際に使用していない Ubuntu Server が導入されている VM の中で、提案ソフトウェアが使用していないと正しく判断できた割合を示す。

実験環境

図 12 に評価実験で使用する環境を示す。実験は CDSL で運用されている 7 台の PM である Mint, Jasmine, Rose, Lotus, Violet, Plum, Lily で運用されている VM を対象とし、あらかじめすべての VM 内の Ubuntu Server で get-last-tcpdump.sh を実行している。

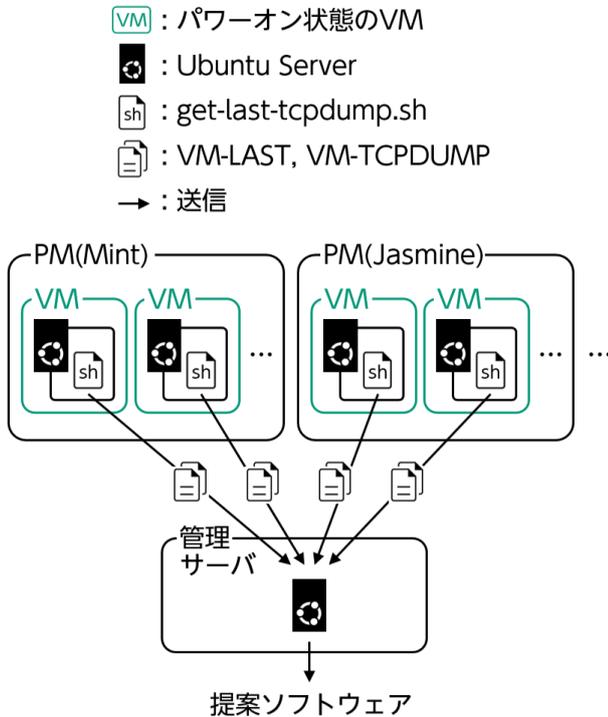


図 12 評価実験で使用する環境

実験結果と分析

実験対象である VM の総数は 50 台である。提案ソフトウェアによって特定した使用していない Ubuntu Server が導入されている VM であるかの正解率を評価するために、VM の作成者全員を対象に、使用している VM と使用していないためアーカイブしてもよい VM についてアンケートを実施した。

50 台の VM のうち、提案ソフトウェアが使用していないと判断した Ubuntu Server が導入されている VM が 3 台で、使用していないと判断した Ubuntu Server が導入されている VM が 47 台である。図 13 に、アンケートで使用していないと回答された Ubuntu Server が導入されている VM の台数と、提案ソフトウェアが使用している、および使用していないと判断した Ubuntu Server が導入されている VM の台数を示す。アンケートで使用していないと回答された VM の台数は 9 台で、提案ソフトウェアが使用していると判断した Ubuntu Server が導入されている VM は 1 台、提案ソフトウェアが使用していないと判断した Ubuntu Server が導入されている VM は 8 台である。

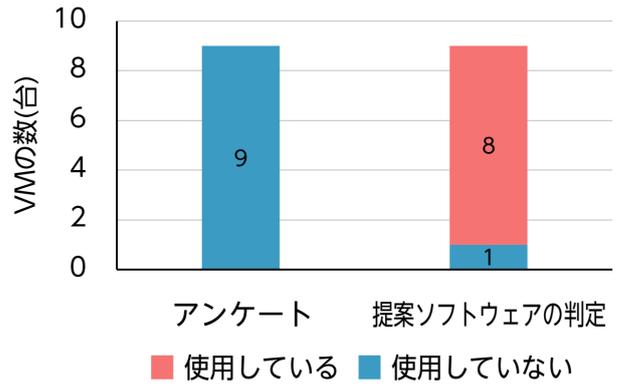


図 13 アンケート結果の回答と提案ソフトウェアの出力の比較

図 14 に、アンケートで使用していると回答された Ubuntu Server が導入されている VM の台数と、提案ソフトウェアが使用している、および使用していないと判断した Ubuntu Server が導入されている VM の台数を示す。アンケートで使用していると回答された VM の台数は 41 台で、提案ソフトウェアが使用していると判断した Ubuntu Server が導入されている VM は 39 台、提案ソフトウェアが使用していないと判断した Ubuntu Server が導入されている VM は 2 台である。

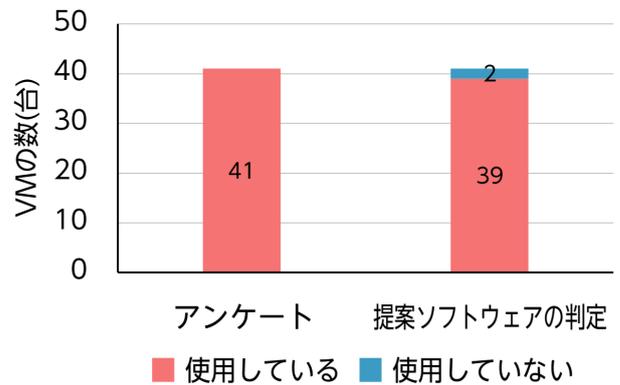


図 14 アンケート結果の回答と提案ソフトウェアの出力の比較

提案ソフトウェアが使用していないと判断したうち、実際に使用していない VM は 1 件で、実際に使用している VM は 2 件であった。提案ソフトウェアが使用していると判断したうち、実際に使用している VM は 39 件で、実際に使用していない VM は 2 件であった。使用していない VM を判定する提案ソフトウェアの適合率は約 33.33% であり、再現率は約 11.11% であった。

6. 議論

提案は、VM 内の OS 上で Kubernetes の Worker Node が動作しているとき、他サーバとの通信を取得できないため適用できない。理由は、デプロイ時には Worker Node が Master Node と通信を行い、それ以外のときは Worker

Nodeは独立して動作しているためである。これは、`get-last-tcpdump.sh`をKubernetesのPod内にインストールして実行できるようにすることで解決できる。

またKubernetesは主にMaster Nodeで作業を行い、Worker Nodeとして使用しているVM内のOSへのログインは行われなかったためである。これは、`kubectl get nodes`コマンドで取得した各NodeのIPアドレスをDNSサーバに問い合わせ、Master NodeとWorker Nodeの対応関係にあるVMを特定し、それらを1つのサーバとして扱い、OSへのログイン履歴を取得することで解決できる。

提案では、使用していないUbuntu Serverを判断する基準として、学生が所有するすべてのVM内のOSへのログイン間隔の平均値をもちいて、その上内境界点をしきい値としている。算出した上内境界値が300時間であったとき、使用していないVMのうちログイン間隔の平均値が301時間であるUbuntu Serverは、提案ソフトウェアによって使用していると判断される。そのため上内境界点の値を高くすることで、使用していないUbuntu Serverを判断することができる。

提案では、上内境界点を算出するために第一四分位数と第三四分位数が必要であり、学生は少なくとも4台以上のVMを所有している必要がある。そのため、学生が所有するVMの総数が4台未満である場合には、提案を適用できない。解決方法として、学生が所有するすべてのVMにおけるOSごとのログイン間隔を正規化し、その中から最大のログイン間隔を基準値として取得する。最大のログイン間隔をもちいることで、使用されていないVMを判断する際の誤判定率を減らすことができるためである。所有するVMが4台未満である学生のVMにおけるOSごとの最大のログイン間隔と基準値を比較し、基準値を超える最大のログイン間隔が存在する場合、そのVMは使用していないと判断する。これにより、所有するVMが4台未満である学生のVMについても提案を適用できるようになる。

7. おわりに

パワーオン状態のVMのうち、実際に使用していないVMを判断できないことを課題にあげた。提案として他サーバとの通信の履歴がないUbuntu Serverのうち、学生が所有するすべてのVM内のUbuntu Serverへのログインを行っていない期間からテクニカルレポート執筆期間と長期休暇期間を除外した期間の平均値をそれぞれのUbuntu Serverごとに算出し、平均値が上内境界点を超えたVMを使用していないと判断する。評価実験は50件のVMを対象に行い、提案ソフトウェアの精度を適合率と再現率から求める。提案ソフトウェアが使用していないと判断したUbuntu Serverのうち、実際に使用していないUbuntu Serverは1件で、実際に使用しているUbuntu Serverは2件であった。提案ソフトウェアが使用していると判断

したUbuntu Serverのうち、実際に使用しているUbuntu Serverは39件で、実際に使用していないUbuntu Serverは8件であった。実験結果として、提案ソフトウェアの適合率は約33.33%であり、再現率は約11.11%であった。

参考文献

- [1] Ye, X., Yin, Y. and Lan, L.: Energy-Efficient Many-Objective Virtual Machine Placement Optimization in a Cloud Computing Environment, *IEEE Access*, Vol. 5, pp. 16006–16020 (online), DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2733723 (2017).
- [2] Osypanka, P. and Nawrocki, P.: Resource Usage Cost Optimization in Cloud Computing Using Machine Learning, *IEEE Transactions on Cloud Computing*, Vol. 10, No. 3, pp. 2079–2089 (online), DOI: 10.1109/TCC.2020.3015769 (2022).
- [3] Sharma, S. and Chawla, M.: A Technical Review for Efficient Virtual Machine Migration, *2013 International Conference on Cloud Ubiquitous Computing Emerging Technologies*, pp. 20–25 (online), DOI: 10.1109/CUBE.2013.14 (2013).
- [4] Chen, B., Xiao, N., Cai, Z., Chu, F. and Wang, Z.: Virtual Disk Image Reclamation for Software Updates in Virtual Machine Environments, *2009 IEEE International Conference on Networking, Architecture, and Storage*, pp. 43–50 (online), DOI: 10.1109/NAS.2009.14 (2009).
- [5] MacLaren, J., Allen, G., Dekate, C., Huang, D., Hutanu, A. and Zhang, C.: Shelter from the Storm: Building a Safe Archive in a Hostile World, *On the Move to Meaningful Internet Systems 2005: OTM 2005 Workshops* (Meersman, R., Tari, Z. and Herrero, P., eds.), Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, pp. 294–303 (2005).
- [6] Patel, N. and Patel, H.: Energy efficient strategy for placement of virtual machines selected from underloaded servers in compute Cloud, *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, Vol. 32, No. 6, pp. 700–708 (online), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2017.11.003> (2020).
- [7] Chen, J., Qin, Y., Ye, Y. and Tang, Z.: A Live Migration Algorithm for Virtual Machine in a Cloud Computing Environment, *2015 IEEE 12th Intl Conf on Ubiquitous Intelligence and Computing and 2015 IEEE 12th Intl Conf on Autonomic and Trusted Computing and 2015 IEEE 15th Intl Conf on Scalable Computing and Communications and Its Associated Workshops (UIC-ATC-ScalCom)*, pp. 1319–1326 (online), DOI: 10.1109/UIC-ATC-ScalCom-CBDCCom-IoP.2015.239 (2015).
- [8] Sayadnavard, M. H., Haghghat, A. T. and masoud Rahmani, A.: A reliable energy-aware approach for dynamic virtual machine consolidation in cloud data centers, *The Journal of Supercomputing*, Vol. 75, pp. 2126–2147 (online), available from (<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:54445772>) (2018).
- [9] Steinhoff, M.: Using Software Containers for Privileged Access Management in Cloud Environments: A Novel Approach to Handle Access Management for Cloud-based Networks, *Nordic and Baltic Journal of Information & Communications Technologies*, pp. 297–310 (2020).
- [10] Wang, Q., Pang, J., Yue, F. and Yang, S.: SWPy:

Python Numerical Computing Library Optimization for Domestic Many-core Processors, *2022 IEEE 10th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC)*, Vol. 10, pp. 1171–1178 (online), DOI: 10.1109/ITAIC54216.2022.9836688 (2022).